

# IMPACTS DES FEUX ANNUELS SUR LA VEGETATION ET LES SOLS DES SAVANES DU CENTRE DE LA CÔTE D'IVOIRE

D. Louppe<sup>1</sup>, R. Oliver<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Cirad-forêt, Campus international de Baillarguet - TA 10/C - 34398 Montpellier Cedex 5 - France - Courriel : dominique.louppe@cirad.fr

<sup>2</sup> Cirad-amis, Avenue Agropolis - TA 40/01 - 34398 Montpellier Cedex 5 - France  
Courriel : robert.oliver@cirad.fr

## Résumé

Les "parcelles feux d'Aubréville" sont installées dans la forêt de Kokondékro, à 10 kilomètres au sud de Bouaké dans le centre de la Côte d'Ivoire. Elles constituent un dispositif expérimental unique au monde dans lequel l'effet des feux de brousse annuels sur la végétation est étudié depuis 1936. La protection intégrale contre les feux y est comparée aux effets des feux annuels : les feux précoces sont allumés au début de la saison sèche (15 décembre) et les feux tardifs en fin de saison sèche (10 mars). Les trois parcelles couvrent chacune deux hectares.

Au tout début, l'ensemble du dispositif était un champs de coton laissé en jachère pendant sept ans et parcouru par les feux. Après 60 années d'expérimentation, la parcelle en protection intégrale supporte une forêt secondaire dense semi-décidue. Les feux tardifs ont créé une "steppe" surmontée d'arbres vieillissants car les régénérations de ligneux sont inexistantes. Les feux précoces ont permis à une forêt dense de se reconstituer sur les sols les plus riches et à une savane boisée de se maintenir ailleurs.

Le sol est de type ferrallitique. Sur chacune des trois parcelles, un échantillon composite de sol (5 carottes) a été prélevé pour l'horizon 0-15 cm. Une sixième carotte de sol non "perturbé" a été prélevée pour effectuer des mesures de porosimétrie au mercure.

La parcelle protégée présente logiquement les teneurs les plus élevées et le complexe absorbant le mieux fourni notamment pour Mg et K. Toutes les parcelles sont pauvres en P assimilable. Le taux de matière organique passe de 3,32 % pour la protection intégrale à 2,63 % pour le feu tardif et 1,79 % pour le feu précoce (savane). Le rapport C/N évolue dans le même sens.

Globalement, les sols des parcelles "brûlées" sont moins poreux et présentent par rapport à la parcelle protégée 1) une microporosité plus importante, 2) une mésoporosité plus importante avec une supériorité du feu précoce et 3) une baisse de la macroporosité de l'ordre de 50 %. La séquestration du carbone dans le sol et la végétation, en 60 ans, est de l'ordre de 1,8 T ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> dans la parcelle protégée, 0,33 T ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> avec les feux précoces et de - 0,18 T ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> dans le cas des feux tardifs.

**Mots clés :** Côte d'Ivoire, savanes soudano-guinéennes, feux de brousse, protection, végétation, sol, carbone.

## IMPACTS OF REPEATED FIRES ON SAVANNAS' SOILS OF THE CENTER OF CÔTE D'IVOIRE

### Abstract

The "Aubréville's fire plots" constitute the unique trial in the world in which the effects of brush fires, alight every year, on vegetation is studied since 1936. The complete protection against fires is compared there with "early fires" effects (beginning of the dry season or 15 December) and with "late fires" (10 March, end the dry season).

After 60 years of experimentation, the plot completely protected is a dense secondary semi-deciduous forest. The "late fires" create a "steppe" overhauled by aging trees. The "early fires" allowed to reconstitute a dense forest on the richest soils and to maintain a wooded savanna on the poorest soils.

On each of the three plots, a composite sample of soil (5 cores mixed together) has been taken from the horizon 0-15 cm. A sixth core of soil not "altered" has been taken to do measures of porosity by mean of mercury.

The "protected plot" logically presents the most elevated contents of nutrients and the highest absorbent complex notably for Mg and K. All parcels are poor in assimilated P. The organic matter rate passes 3,32% for the complete protection to 2,63% for the "late fires" and 1,79% for the "early fires" (savanna). The C/N ratio evolves in the same proportion.

Globally, the burnt "plots" soils are less porous and present in relation to the "protected plot" 1) a more important microporosity, 2) a more important mesoporosity with a superiority of the "early fires" and 3) a decrease of the macroporosity of the order of 50%.

Carbon sequestration by soil and vegetation, during 60 years, is about  $1,8 \text{ T ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  in the protected plot,  $0,33 \text{ T ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  in the "early fires plot" and minus  $0,18 \text{ T ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  in the "late fires plots".

At the level of soil's macrofauna, termites are everywhere present whereas earthworms are distinctly more abundant in the "protected plot".

**Key words:** brush fires, protection, vegetation, soil, porosity, carbon, Côte d'Ivoire

### Introduction

L'effet des feux de brousse sur la végétation a généralement été bien étudié car leur impact est très visible. Par contre l'étude de leur effet sur les sols a été souvent limitée à la mesure des températures atteintes en surface et dans les horizons superficiels. (Monnier, 1968 ; Vuattoux, 1968 ; IEMVT, 1990 ; Louppe, 1996)

L'évolution physico-chimique des sols est un phénomène assez lent et progressif en l'absence d'érosion ou de sédimentation marquées. Aussi faut-il une série longue d'événements répétés annuellement pour que ces modifications puissent être perceptibles, notamment au niveau de l'évolution physique du sol.

Une telle série existe dans les "parcelles feux d'Aubréville" à Kokondékro, près de Bouaké, au Centre de la Côte d'Ivoire. Après un bref rappel du dispositif expérimental et des résultats concernant la végétation, nous présenterons les résultats obtenus récemment sur l'évolution physico-chimique des sols en relation avec les feux de brousse.

## Introduction

L'effet des feux de brousse sur la végétation a généralement été bien étudié car leur impact est très visible. Par contre l'étude de leur effet sur les sols a été souvent limitée à la mesure des températures atteintes en surface et dans les horizons superficiels. (Monnier, 1968 ; Vuattoux, 1968 ; IEMVT, 1990 ; Louppe, 1996)

L'évolution physico-chimique des sols est un phénomène assez lent et progressif en l'absence d'érosion ou de sédimentation marquées. Aussi faut-il une série longue d'événements répétés annuellement pour que ces modifications puissent être perceptibles, notamment au niveau de l'évolution physique du sol.

Une telle série existe dans les "parcelles feux d'Aubréville" à Kokondékro, près de Bouaké, au Centre de la Côte d'Ivoire. Après un bref rappel du dispositif expérimental et des résultats concernant la végétation, nous présenterons les résultats obtenus récemment sur l'évolution des sols (aspects physico-chimiques et macro-faune) en relation avec les feux de brousse.

## Les parcelles feux

Ce dispositif a été installé par A. Aubréville en 1936 afin de montrer que les savanes du Centre de la Côte d'Ivoire étaient la conséquence des feux de brousse répétés et que, naturellement, le climax est la forêt. L'expérience voulait également démontrer que cette évolution du milieu était réversible si on parvenait à contrôler ou à supprimer les feux. Rappelons que la pluviométrie à cet endroit est de l'ordre de 1.100 mm avec deux maxima (juin et septembre). La température annuelle moyenne est de 26°C.

Le dispositif expérimental se compose de trois parcelles de 2 ha chacune (100 x 200 m) étirées dans le sens de la pente et séparées par des pare-feux. Avant le début de l'expérimentation le terrain avait été cultivé en coton pendant plusieurs années et depuis 6 ans laissé en jachère. On y trouvait donc quelques arbres adultes d'espèces savaniques et de nombreuses souches avec rejets : en moyenne, par hectare, on notait 400 régénérations (moins de 2 cm de diamètre à 1,30 m), 1.175 régénérations acquises (entre 2 et 10 cm de diamètre à 1,30 m) et 39 arbres de plus de 10 cm. (Aubréville, 1953 ; CTFT, 1969 ; Dereix & N'Guessan, 1976)

Annuellement, depuis 1937, chaque parcelle reçoit un "traitement feux" différent :

X) parcelle en protection intégrale contre les feux ; Y) mise à feux précoce : le 15 décembre ; Z) mise à feux tardive : le 10 mars.

## 58 ans plus tard !

Le dernier inventaire complet de ces parcelles a été fait en 1995 et les résultats résumés ci-dessous ont été présentés dans plusieurs articles (Louppe *et al.*, 1995a,b ; Ouattara & Louppe, 1996).

Après protection intégrale, le couvert est complètement fermé et on se trouve en face d'une forêt dense semi-décidue secondarisée avec abondance de lianes. Les arbres dominants sont des essences soit pionnières, soit héliophiles, à croissance initiale rapide. Les espèces sciaphiles sont encore dominées. Les espèces de savane ont disparu. 117 espèces ligneuses ont été dénombrées. Elles représentent par hectare 6.877 individus de plus de 2 cm de diamètre à 1,30 m et 27,8 m<sup>2</sup> de surface terrière.



Dans la parcelles "feux précoces" de début de saison sèche, l'évolution de la végétation est fonction des sols. Sur les plus riches, en haut de pente, une forêt dense semi décidue secondarisée "jeune" a fini par se reconstituer. Contrairement à la parcelle protégée, on y retrouve encore des espèces de savane. Par contre, dans la partie la moins fertile, une savane arborée se maintient qui ne semble, en comparant les inventaires de végétation successifs, ni s'emboiser ni se déboiser. La richesse spécifique a fortement diminué puisqu'il n'y a plus, par hectare, que 79 espèces ligneuses ( $> 2$  cm d), 2.244 individus et 15,6 m<sup>2</sup> de surface terrière.

Suite aux "feux tardifs" répétés, la parcelle est devenue une savane dans laquelle les arbres sont rares. Par hectare il ne reste que 20 espèces dont deux forment la majorité du peuplement, 241 individus et 3 m<sup>2</sup> de surface terrière. L'ensemble des arbres survivants sont vieillissants et fortement traumatisés par les feux. Ils risquent de disparaître prochainement.

## Matériel et méthode

### Etude des sols : analyses physico-chimiques

Le sol est de type ferrallitique.

En 1996, des échantillonnages de sol ont été effectués avec une tarière à prélèvement racinaire de 8 cm de diamètre, dans l'horizon 0-15 cm. Ceux-ci étaient de deux types en fonction des objectifs visés :

- un prélèvement composite constitué de 5 carottes réparties au hasard sur la parcelle. Après mélange des échantillons, une aliquote a été prélevée et analysée<sup>1</sup> ;
- un prélèvement unique placé dans une boîte ad-hoc qui a permis sa conservation "en l'état". Cet échantillon a été en priorité utilisé pour les mesures de porosimétrie au Cirad.

Un seul échantillon pour caractériser l'état physique du sol est certes insuffisant, mais ce premier prélèvement devait permettre de tester les conditions de conservation de la structure au cours du transport. Pour vérifier si cet échantillon est représentatif de la parcelle, les analyses chimiques courantes ont été effectuées après les analyses de porosimétrie et comparées à celles de l'échantillon composite. L'étude des échantillons non remaniés a été complétée par quelques caractéristiques physiques sur la terre fine ainsi que par le fractionnement physique de la matière organique (Feller 1979) de la terre fine.

La Porosimétrie au mercure permet d'évaluer le volume des vides et la répartition des pores en fonction de leur diamètre équivalent, estimations faites à partir de la loi de Jurin. L'appareil utilisé (Pore Sizer 9310, Micromeritics) permet d'explorer une gamme de diamètres de pores compris entre 300 et 0.006  $\mu$ m. L'échantillon de forme cubique et d'un volume limité à 8 cm<sup>3</sup> est déshydraté à l'étuve à 105°C pendant 24 h. Il est alors placé dans la cellule de mesure et soumis à un vide de l'ordre de  $1.10^{-5}$  MPa préalablement à l'intrusion du mercure sous pression dans l'échantillon. Afin de rendre toutes les courbes comparables, les valeurs d'intrusion sont ramenées à un diamètre de référence par interpolation entre deux mesures successives. Les pores sont ainsi assimilés à des tubes cylindriques.

Du fait de la nature gravillonnaire des échantillons, les éléments grossiers sont extraits après

---

<sup>1</sup> Analyses réalisées par le laboratoire du Cirad à Montpellier

## Résultats et discussion

### Végétation de surface

La végétation ligneuse a été brièvement décrite ci-dessus. La biomasse végétale à la surface du sol est présentée au tableau 1. Elle est constituée de la végétation herbacée et de la litière non décomposée. La végétation ligneuse, sauf les semis, a été maintenue afin de ne pas trop perturber l'essai.

Tableau 1 : Produits végétaux au niveau du sol (en T MS ha<sup>-1</sup>)

Période	Protégée	Feux précoces	Feux tardifs
Juin	2,8	3,4	5,1
Juillet	5,6	7,4	4,5

Globalement, les différences constatées sont faibles mais la nature des produits diffère selon les parcelles. Dans la protection intégrale, on ne trouve que de la litière, le sous-bois étant trop sombre pour permettre aux herbacées de se développer. A l'inverse, dans la parcelle feux tardifs, la strate herbacée en cours de reconstitution ne produit pratiquement pas de litière en quatre mois de végétation. La parcelle feux précoces présente une végétation herbacée et une litière fine résultant de la chute des feuilles depuis décembre.

Dans la parcelle protégée, la litière augmente en cours de saison des pluies, ce qui semble paradoxal mais n'est pas étonnant car en cette saison que les vents sont instantanément les plus violents. Ils provoquent chutes de branches mortes et arrachent les feuilles vertes<sup>2</sup>. Ceci explique également la biomasse plus abondante en juillet dans la parcelle feux précoce où la strate arborée subsiste.

La biomasse racinaire de l'horizon 0-30 cm a également été étudiée à partir des prélèvements effectués lors de l'étude de la macrofaune (Tableau 2)

Tableau 2 : biomasse racinaire de l'horizon 0-30 cm (T MS ha<sup>-1</sup>)

Période	Protégée	Feux précoces	Feux tardifs
Juin	20,3	13,5	13,6
Juillet	15,4 a	16,0 a	7,3 b

Seules les différences observées en juillet sont significatives. La diminution (non significative) des racines dans la parcelle protégée et dans la parcelle "feu tardifs" pourrait être attribuée à la biodégradation des racines de l'année précédente avec l'arrivée de la saison des pluies. Dans le cas de la parcelle "feu précoces" cette biodégradation a peut-être eu lieu dès le passage du feu en décembre, le sol étant encore humide, ce qui expliquerait que l'on ne l'observe pas pendant les pluies.

<sup>2</sup> Cette observation a également été faite par les auteurs à Korhogo sous diverses espèces

## Granulométrie et analyses chimiques

Les résultats des analyses effectuées sur les échantillons composites et sur ceux non remaniés figurent au tableau 3.

Tableau 3 : analyses physico-chimiques

Parcelle		Protégée		Feux précoces		Feux tardifs	
Echantillon		physique	composite	physique	composite	physique	composite
Ca cob	Cmol(eq).kg <sup>-1</sup>	5.7	4.66	4.85	3.22	4.7	3.94
CEC cob	Cmol(eq).kg <sup>-1</sup>	9.98	8.17	6.97	5.28	7.5	6.14
K cob	Cmol(eq).kg <sup>-1</sup>	0.41	0.34	0.17	0.23	0.26	0.26
Mg cob	Cmol(eq).kg <sup>-1</sup>	3.06	2.59	1.24	1.35	1.65	1.57
Mn cob	Cmol(eq).kg <sup>-1</sup>	0.07	0.04	0.04	0.01	0.14	0.04
somme		9.18	7.62	6.27	4.8	6.61	5.79
sat		0.92	0.93	0.9	0.91	0.88	0.94
carbone	%	1.93	1.79	1.04	0.96	1.53	1.35
Ntot CHN	mg/g	1.61	1.44	0.7	0.64	1.02	1.00
P Olsen	mg/kg P	11.7	8.4	9.0	15.7	14.6	10.4
P total	mg/kg P	312		278		307	
K tot	mg/kg K	77.21		36.83		41.49	
pH eau		6.55	6.35	6.4	7.1	6.15	6.75
pH KCl		5.9	5.35	5.85	5.95	5.5	5.45
stab alcool	agrégats %	90.72		86.17		87.1	
stab. benzène	agrégats %	73.72		69.74		73.2	
stab eau	agrégats%	85.04		74.68		77.22	
Is Hénin	%	0.56		0.59		0.65	
(A+L) maxi	%	23		21.5		25	
Sab Gros max	%	46.84		48.45		45.38	
argile	%	22.7		14.2		24.2	
lim fin	%	8.6		5.6		9.5	
lim grossiers	%	6.6		5.6		6.5	
sab fin	%	15.5		13.8		16	
sab gros	%	46.7		60.8		43.8	

La similitude de la granulométrie des parcelles “protection intégrale” et “feux” tardifs” est nette. Par contre, la parcelle “feux précoce” présente plus de sables grossiers et moins d’argile, particularité dont il sera tenu compte dans l’interprétation des données de porosimétrie

Les analyses chimiques des deux types d’échantillons (composites ou non remaniés) montrent des résultats similaires pour pratiquement toutes les variables. On peut donc considérer les prélèvements non remaniés comme représentatifs des parcelles.

La parcelle “protégée” présente, logiquement, les teneurs les plus élevées et le complexe absorbant le mieux fourni, en particulier pour Mg et K. Les parcelles “brûlées” ont un pH légèrement plus acide et, par conséquence, une teneur plus forte en Mn échangeable. Les différences de P assimilable sont trop faibles pour avoir un impact sur la fertilité car toutes les

parcelles sont pauvres en P assimilable.

Les teneurs en carbone total et azote total (matière organique) sont environ deux fois plus élevées dans la parcelle protégée du feu.

### Porosimétrie au mercure

Le tableau 4 présente les valeurs moyennes (sur 4 mottes constitutives de l'échantillon de départ) obtenues au porosimètre à mercure. La comparaison statistique par le test de Newman-Keuls des différentes situations par paramètre est schématisée par une lettre, une même lettre indique une différence non significative au seuil de 5%.

Tableau 4 : résultats moyens des paramètres obtenus en porosimétrie (terre fine et éventuels gravillons inclus dans la motte analysée)

	feu précoce		feu tardif		parcelle protégée	
	moyenne	erreur type	moyenne	erreur type	moyenne	erreur type
intrusion $\text{cm}^3/\text{g}$	0.1634 a	0.0153	0.1800 a	0.0158	0.1930 a	0.0034
surface spécifique $\text{m}^2/\text{g}$	6.36 a	1.28	8.73 a	1.24	7.65 a	0.24
diamètre médian $\mu\text{m}$	6.64 a	1.48	3.56 a	1.54	11.32 a	3.91
diamètre moyen $\mu\text{m}$	0.1102 a	0.0158	0.0857 a	0.0080	0.1007 a	0.0015
densité apparente globale	1.873 a	0.039	1.720 b	0.020	1.722 b	0.007
densité des solides	2.699 a	0.077	2.496 a	0.068	2.575 a	0.010
porosité $\text{cm}^3/\text{cm}^3$	0.3046 a	0.0247	0.3089 a	0.0245	0.3311 a	0.0052
EGp %	16.2 a	7.4	3.1 a	1.3	11.8 a	1.5
Egv %	13.1 a	6.3	2.2 a	0.9	8.5 a	1.1
densité apparente TF	1.795 a	0.005	1.705 b	0.014	1.660 c	0.005
intrusion TF $\text{cm}^3/\text{g}$	0.1887 a	0.0127	0.1842 a	0.0149	0.2143 a	0.0016
porosité TF $\text{cm}^3/\text{cm}^3$	0.3387 a	0.0220	0.3137 a	0.0237	0.3558 a	0.0021

Avec: Egp % = taux pondéral des gravillons en % ; Egv % = taux volumique des gravillons en % ;

TF = terre fine < 2 mm

Mises à part les densités apparentes, sol où terre fine, les variations observées ne permettent pas de différencier statistiquement les situations quel que soit le critère retenu.

Le graphique 1 permet de visualiser les caractéristiques porales qui sont résumées dans le tableau 5.

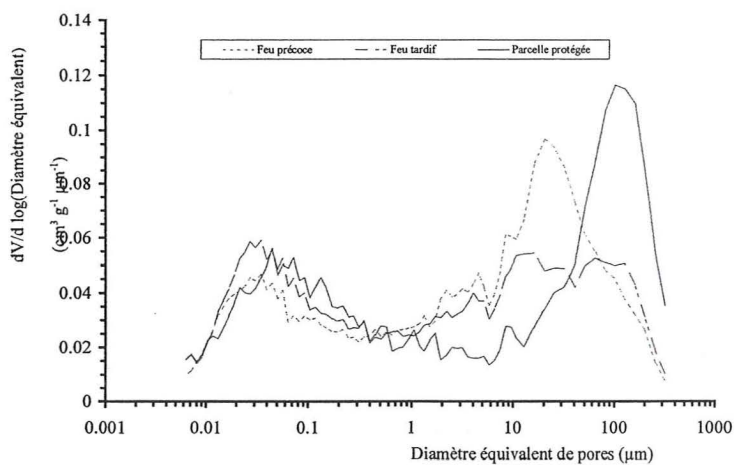


Figure 1 : Spectre poral de la "terre fine" des parcelles feu à Kokonde.



Tableau 5 : caractéristiques porales des parcelles

	feu précoce	feu tardif	parcelle protégée
porosité totale (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.3046	0.3089	0.3311
- diamètre médian µm	6.64	3.55	11.32
limite de classe µm	0.314	0.400	1.950
porosité D>0.3 µm (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.2210	0.1956	0.1928
- diamètre modal µm	20.36	64.37/16.17 *	102.02
- diamètre médian µm	19.01	19.05	106.48
porosité D<0.3 µm (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.0838	0.1133	0.1393
- diamètre modal µm	0.0351	0.0351	0.0448
- diamètre médian µm	0.0523	0.0493	0.0935
% porosité D>0.3µm	72.50	63.32	58.05
% porosité D<0.3µm	27.50	36.68	41.95

\* Deux modes sont observés pour cette classe dans la parcelle feux tardifs (explications dans le texte)

Les courbes de distribution de la taille des pores, dérivées des courbes cumulées (figure 1), montrent une distribution nettement bimodale. séparant la porosité en deux grandes classes de pores pour un diamètre moyen de l'ordre de 0.35µm en ce qui concerne les parcelles soumises à brûlage et de 2µm pour la parcelle protégée (Tableau 5). La valeur de diamètre de 0.35µm est équivalente à celle observée ailleurs sur des sols ferrallitiques (Carvalho et al, 1991 ; Hartman, 1991) ou ferrugineux du Sénégal (Colleuille, 1993).

La première classe (D<0.3µm) est la porosité matricielle due à l'assemblage des particules les plus fines du sol. La parcelle protégée présente une porosité plus importante que les parcelles brûlées. De plus, les valeurs supérieures du diamètre modal et du diamètre médian dans la parcelle protégée caractérisent un plus grand étalement de ce type de porosité qui est vraisemblablement dû à une protection par la matière organique. La hauteur du pic est logiquement proportionnelle à la teneur en argile.

La seconde classe (D>0.3µm) correspond à la porosité ménagée par l'assemblage des agrégats entre eux. Cette partie des courbes présente une allure monomodale, plus ou moins prononcée, pour la parcelle "feux précoces" et pour la parcelle protégée, et une allure bimodale pour la parcelle "feux tardifs". Dans ce dernier cas, la mauvaise définition du mode peut être attribuée à la présence d'assemblages, plus ou moins compacts, d'agrégats incluant, plus ou moins, de sables et limons grossiers (Colleuille, 1993). La nature graveleuse des échantillons pourrait exacerber ce phénomène. La parcelle protégée présente une porosité légèrement plus faible que celles des parcelles soumises à brûlage, mais de diamètre médian très supérieur caractérisant une porosité plus grossière.

Globalement, les parcelles soumises au brûlage présentent des caractères de compacité plus prononcée que la parcelle protégée (figure 1). L'utilisation d' une distribution de la porosité en quatre classes de diamètre de pores (tableau 6), fonctionnelles par rapport à l'eau (Chamayou, Legros, 1989), permet de bien mettre en évidence les différences observées (tableau 7).

Tableau 6 : classes de porosité fonctionnelle

Porosité	Limites( $\mu\text{m}$ )	Qualité
macro	300>D>60	drainage, aération
méso	60>D>6	écoulement lent
micro	6>D>0.2	l'essentiel de la RU
matricielle	D<0.2	PF4,2

Avec : RU : réserve en eau utile et PF4,2 : point de flétrissement

Ainsi, par rapport à la parcelle protégée, les parcelles “brûlées” présentent:

- une porosité matricielle dépendant du taux d'argile,
- une microporosité plus importante,
- une mésoporosité plus importante avec une supériorité pour le feu précoce,
- une baisse de la macroporosité de l'ordre de 50%.

Tableau 7 : comparaison des classes de porosité fonctionnelle

Classes fonctionnelle de porosité	feux précoces		feux tardifs		parcelle protégée	
	Porosité ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )	Porosité relative (%)	Porosité ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )	Porosité relative (%)	Porosité ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )	Porosité relative (%)
macro	0.0436	14.3% <b>b</b>	0.0532	17.3% <b>b</b>	0.1129	34.1% <b>a</b>
méso	0.1092	35.8% <b>a</b>	0.0812	26.3% <b>b</b>	0.0623	18.7% <b>c</b>
micro	0.0747	24.5% <b>a</b>	0.0738	23.9% <b>a</b>	0.0589	17.7% <b>a</b>
matricielle	0.0773	25.4% <b>a</b>	0.1006	32.5% <b>a</b>	0.0980	29.5% <b>a</b>

Note : macro + méso-porosité = porosité “biotique”

En conclusion, si les critères globaux de la porosité ne différencient pas statistiquement les traitements, l'étude de la distribution de cette porosité permet de mettre en évidence une augmentation notable de la macroporosité dans la parcelle protégée par rapport aux parcelles “brûlées”. La période de mise à feu ne semble influencer que sur la mésoporosité qui diminue du “feu précoce” aux “feux tardifs” avec un changement très net du type de distribution des pores..

#### Stabilité structurale.

La parcelle protégée et les parcelles “feux tardifs” et “feux précoces” ont, respectivement, un Indice de stabilité structurale (Is) de 0.56, 0.65 et 0.59. Ces différences ne sont pas significatives (Tableau 3). En outre, le critère  $\log 10I_s < 1$  montre que les trois parcelles ont des sols à structure très stable. Le feu ne semble donc pas affecter la stabilité structurale des sols ferrallitiques.

#### Matière organique. (tableau 8)

Le taux de matière organique qui est de 3.32% pour la parcelle protégée passe à 2.63% pour la parcelle “feux tardifs” et à 1.79% pour la parcelle “feux précoces”. Le feu et l'époque de brûlage affectent donc sérieusement ce paramètre, mais l'on aurait pu s'attendre à une inversion entre feu tardif et feu précoce. Les concentrations en carbone et azote évoluent dans le même sens et conduisent à des valeurs de C/N plus importantes pour les parcelles soumises aux feux. La matière

organique, ainsi que l'on pouvait s'y attendre s'y décompose moins rapidement.

Tableau 8 : Résultats relatifs au fractionnement de la matière organique.

	fractions			sols		
	parcelle protégée	feu tardif	feu précoce	parcelle protégée	feu tardif	feu précoce
M.O%				3.32	2.63	1.79
C%total				1.93	1.53	1.04
N‰ total				1.61	1.02	0.70
C/N				12.0	15.0	14.9
C% f <20µm	3.34	3.07	3.65	0.96	1.00	0.74
C% f 20-50µm	1.69	1.16	0.94	0.10	0.07	0.04
C% f 50-200µm	1.85	1.08	0.67	0.37	0.22	0.11
C% f >200µm	0.77	0.47	0.17	0.33	0.18	0.10
	‰ C/N	‰ C/N	‰ C/N	<i>Qt exprimées mg g<sup>-1</sup> sol</i>		
N‰ f <20µm	3.51 9.5	2.26 13.5	2.72 13.4	1.01	0.74	0.55
N‰ f 20-50µm	1.50 11.2	0.82 14.1	0.68 13.8	0.09	0.05	0.03
N‰ f 50-200µm	1.79 10.3	0.83 13.0	0.51 13.1	0.35	0.17	0.08
N‰ f >200µm	0.66 11.6	0.32 14.6	0.22 7.7	0.28	0.12	0.13
N soluble (mg kg <sup>-1</sup> )				62.0	48.5	68.2
N soluble NH <sub>4</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )				17.0	6.0	16.0
N soluble NO <sub>3</sub> (mg.kg <sup>-1</sup> )				11.0	4.0	14.0

Le fractionnement granulométrique de la matière organique montre une distribution pratiquement équivalente entre le carbone et l'azote. La fraction fine (A+Lf) représente de la moitié au trois-quarts de la quantité totale de la matière organique. Le rapport C/N des fractions de la parcelle protégée montre une humification avancée de tous les compartiments organiques. En passant du feu tardif au feu précoce et à l'absence de feu, la répartition de l'azote dans les diverses fractions est beaucoup plus équilibrée (figure 2). Les teneurs des diverses fractions diminuent fortement entre la parcelle protégée et les deux parcelles brûlées, même dans le cas de la fraction la plus fine (tableau 9) bien que dans ce cas la perte de teneur en N est beaucoup plus faible.

Tableau 9 : Evolution des teneurs en N (% relatif) des parcelles feu précoce et tardif par rapport à la parcelle protégée.

Fraction	0-20 µm	20-50 µm	50-200 µm	200-2000 µm
Feu tardif	-35.6	-45.3	-53.6	-51.5
Feu précoce	-22.5	-54.7	-71.5	-66.7

### Macrofaune du sol

L'ensemble de la macrofaune du sol a été prélevée. Seuls les termites et les vers de terre sont abondants partout. Tous les autres organismes ne sont représentés que par quelques individus : nous n'en traiterons pas ci-après. Le tableau 10 présente les principaux résultats.

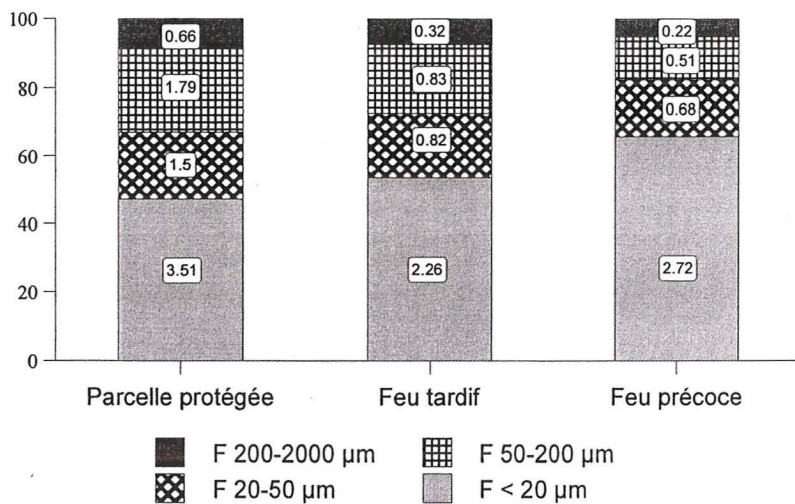


Figure 2 : Richesse relative en azote des diverses fractions granulométriques du sol. (en encadré les teneurs de chaque fraction  $\text{mg g}^{-1}$  de sol).



Tableau 10 : Poids total de la macrofaune du sol et nombre de termites et de vers de terre présents dans la litière et dans l'horizon 0-30 (en g et en nombre par m<sup>2</sup>).

Période	Parcelle	Poids faune (g/m <sup>2</sup> )	Termites (n/m <sup>2</sup> )*	Vers de terre (n/m <sup>2</sup> )**
Juin	Protégée	44,3	2700	500
	Feux précoces	26,6	2800	300
	Feux tardifs	17,9	1180	250
Juillet	Protégée	25,3	800	380 a
	Feux précoces	18,8	1600	260 ab
	Feux tardifs	31,0	1800	150 b

\* Arrondi à la centaine ; \*\* arrondi à la dizaine

L'essentiel du poids de la faune est représenté par les vers de terre ce qui explique la relation linéaire entre le nombre de vers et le poids de la faune en juin.

Néanmoins, si l'on constate une diminution globale de la faune dans les horizons de surface dans les parcelles boisées entre juin et juillet il n'en est pas de même pour la parcelle feux tardifs. L'accroissement de la faune dans ces horizons pourrait être rattaché à la diminution sensible des racines vivantes qui y a été observé. On pourrait alors émettre l'hypothèse qu'en fonction de l'état boisé ou non, les vers de terre travaillent à des profondeurs différentes pendant la saison des pluies. Cette hypothèse pourrait être confirmée par les observations de Louppe (1996) <sup>3</sup> qui note l'abondance des turricules de vers de terre dans la parcelle feux tardifs alors qu'il n'en retrouve pas dans les autres traitements. Ceci n'est pas sans importance pour l'interprétation des analyses chimiques et structurales des sols.

### Le carbone du sol

Les teneurs en matière organique et en carbone n'ont été mesurées que dans les 15 premiers cm de sol alors que, classiquement, ces estimations sont effectuées sur 30 cm.

Sur des sols similaires, à proximité, entre les horizons 0-15 et 15-30, Roose (1980) a relevé une diminution du taux de matière organique de l'ordre de 15% et une augmentation de la densité apparente de 10 %.

Les fosses pédologiques creusées par Yao (1991) permettent d'avoir une appréciation correcte de la charge gravillonnaire de ces deux horizons (Tableau 11).

Tableau 11 : Charge gravillonnaire (en %) des horizons de surface des parcelles feux d'Aubréville.

Horizons	Protection intégrale	Feux précoces	Feux tardifs
0-15 cm	4 %	0 %	13 %
15-30 cm	20 %	10 %	16 %

D'après Kra Yao (1991)

Ces données complémentaires ont servi à estimer l'ordre de grandeur du carbone contenu dans les 30 premier cm de sol. Pour la parcelle en protection intégrale, on aurait environ 80 T de carbone contre 50 T dans la parcelle feux précoces et 61 T dans la parcelle feux tardifs.

On notera que par rapport aux feux précoces, la protection intégrale a permis de stocker 30 T de carbone à l'hectare en soixante an. La séquestration moyenne annuelle serait de 500 kg par hectare lorsque l'on protège durablement une savane arborée des feux.

La teneur en carbone dans la parcelle feux tardifs est supérieure à celle de la parcelle feux précoces. Ceci pourrait s'expliquer par l'immobilisation du carbone sous forme de « charbon » dans les cendres d'herbes et surtout de bois incomplètement consommés.

### Le carbone au dessus du sol

La matière organique (végétation herbacée et la litière) au sol a été estimée au cours de la saison des pluies par Ouattara (1994). La biomasse de la végétation ligneuse a été estimée grossièrement par la formule empirique suivante :  $B = G \times H \times 0,66 \times 0,5$  ou  $B$  = la biomasse totale en Tonnes par hectare,  $G$  = la surface terrière en  $m^2/ha$ ,  $H$  = la hauteur moyenne de la canopée, 0,66 un coefficient réducteur pour l'estimation du volume total de bois, 0,5 la densité moyenne du bois sec. La quantité de carbone est estimée égale à la moitié de la biomasse sèche. Cette estimation (tableau 8) permet juste d'avoir des ordres de grandeurs pour alimenter la réflexion.

### Le carbone total

Tableau 8 : estimation de la quantité de carbone totale (T/ha) de la végétation et des 30 premiers cm de sol dans les parcelles feux d'Aubréville 60 ans après le début de l'expérimentation

	Protection intégrale	Feux précoces	Feux tardifs
Herbes + litière au sol	2,1	2,7	2,4
Végétation ligneuse totale	116 (93)	47	5
Carbone du sol	80	50	61
Carbone total	198 (175)	100	69

La valeur entre () correspond à une estimation basse de la biomasse

La situation de départ devait être intermédiaire entre la parcelle feux tardifs actuelle (qui s'est dégradée) et la parcelle feu précoce (qui s'est reboisée). Nous l'estimerons à environ 80 T de carbone par hectare. Ainsi, nous avons une perte de stock de carbone de l'ordre de  $180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  avec les feux tardifs, un gain de  $330 \text{ kg de carbone ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  avec les feux précoces et un gain de  $1,6 \text{ à } 2,0 \text{ T de carbone ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  dans le cas d'une protection intégrale.

### Discussion générale

Les analyses montrent normalement une meilleure richesse chimique de la parcelle en protection intégrale. Par contre, l'horizon 0-15 de la parcelle feux tardifs, dans laquelle la végétation arborée a pratiquement disparu, est plus riche en carbone et en azote que la parcelle feux précoces. Comment expliquer ce résultat paradoxal ?

La porosimétrie montre que cette parcelle feu tardif a également - toujours dans l'horizon 0-15 - des pores de diamètre supérieurs - pas tous, il y a deux modes - au feu précoce.

Le feu tardif serait-il, pour le sol, meilleur que le feu précoce ? Certainement pas ! Nous allons essayer ici de préciser - ou d'émettre des hypothèses - le pourquoi de ces constatations.

Le taux de matière organique plus élevé en surface dans la parcelle feux tardifs que dans la parcelle feux précoces pourrait s'expliquer par la durée de présence des herbacées sur ces parcelles. Comme le feu précoce détruit, dès la fin de saison des pluies, la matière organique, celle-ci ne peut être transformée et intégrée au sol par les termites (et par les vers de terre ou autres organismes quand le sol est encore suffisamment humide). Par contre, cette intégration peut se faire jusqu'en mars, donc pendant une période supplémentaire de trois mois, dans la parcelle "feux tardifs". L'augmentation du taux de carbone pourrait aussi s'expliquer par une immobilisation partielle du carbone sous forme de charbon : le feu tardif est tellement violent qu'il parvient à faire brûler les branches des arbres, sinon les troncs eux-mêmes, ce qui a d'ailleurs entraîné la quasi disparition des arbres en 60 ans.

D'autres facteurs pourraient apporter une part d'explication : par exemple, les mesures effectuées par Louppe (1996) montrent que l'impact du feu tardif qui passe extrêmement rapidement (8 minutes entre l'allumage et l'extinction totale pour une surface de 2 ha) n'influe aucunement sur la température du sol à un cm de profondeur. Au contraire, il a mesuré une température plus basse que sous sol nu non brûlé, le sol étant protégé du soleil jusqu'au passage du feu. Ces mêmes mesures n'ont pu être réalisées pendant le feu précoce mais il se pourrait que le feu, même moins violent mais plus lent (plus d'une heure pour une surface de un ha) augmente la température des horizons superficiels du sol et ait donc un effet négatif sur l'activité de la pédofaune.

Une autre hypothèse est que l'activité des vers de terre se situe dans des zones différentes selon le couvert végétal et la saison. Elle serait plus intense et plus profonde dans la parcelle sous forêt que dans celles brûlées. Cet effet vers de terres et l'effet des racines, qui sont certainement plus profondes sous forêt, nécessiterait d'être étudié par une analyse complète du profil sous les divers couverts.

L'arrêt des feux permet une séquestration du carbone dans le sol et dans la végétation. En protégeant la végétation du feu, les trente premiers cm de sol ont stocké entre 350 et 500 kg de carbone par hectare et par an selon que l'on prenne la parcelle feux tardifs ou la parcelle feux précoce comme référence. En ajoutant le carbone stocké ou déstocké dans la végétation, les différences apparaissent plus importantes encore et montrent l'effet négatif des feux tardifs sur le stock de carbone total et le stockage important réalisé par la simple protection contre les feux.

## Bibliographie

- Aubréville, A. 1953.** Les expériences de reconstitution de la savane boisée en Côte d'Ivoire. Bois et Forêts des Tropiques, n° 32 - 4-10
- Carvalho S. R. (de), Bruand A., Hardy M. Leprun J.-C. & Jamagne M. 1991.** Tassement des sols ferrallitiques podzolico vermelho amarelo sous culture de canne à sucre (État de Rio de Janeiro, Brésil) Apport d'une analyse de la porosité associée à une connaissance détaillée de la phase minérale. Cah. Orstom, sér. Pédol., vol. XXVI no 3, 1991 : 195-212
- Chamayou H. & J.-P. Legros, 1989,** Les bases physiques chimiques et minéralogiques de la science du sol, Techniques vivantes, 593 p  
Colleville, 1993.
- CTFT-CI, 1969.** Note sur les parcelles d'expérience concernant l'action des feux de brousse (Kokondékro 1969). CTFT-CI, Bouaké, 5p.
- Dereix, Ch. & N'Guessan, A. 1976.** Etude de l'action des feux de brousse sur la végétation. Les parcelles feux de kokondékro. Résultats après quarante ans de traitement. CTFT-CI, Bouaké, 32p. + graphiques.
- Feller, C. 1979.** Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols tropicaux à texture grossière, très pauvres en humus. cah; ORSTOM série Pédologie vol 27, 4 : 339-346
- Hénin, S. Monnier, G. & Cambeau, A., 1958.** Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Annales agronomiques 1:73-92.
- IEMVT, 1990.** Les feux de brousse. Fiche technique d'élevage tropical n° 3. Maison Alfort, 12p.
- Kra Y. 1991.** Analyse intégrée des parcelles d'Aubréville. Mise en évidence de facteurs secondaires dans l'évolution des milieux. In Kabala M., Lepage M. & Sangaré Y. (Eds.) Productivité des savanes de Côte d'Ivoire, Actes du séminaire international sur la productivité des savanes, la conservation et l'aménagement des aires protégées. Projet UNESCO/PNUD n°IVC/87/007, note technique 3. 191-208.
- Louppe, D.; Ouattara, N. & Coulibaly, A. 1995.** Effets des feux de brousse sur la végétation. Bois et forêts des tropiques, n° 245 - 3<sup>e</sup> trimestre 1995. pp 59-69.
- Louppe, D.; Ouattara, N. & Coulibaly, A. 1995.** The effects of brush fires on vegetation : the Aubréville fire plots after 60 years. Commonwealth Forestry Review 74(4), 1995, pp 288-292.
- Louppe, D. 1996.** Température du sol après feu de brousse - Mise à feu de la parcelle feu tardif - Kokondékro - 8 mars 1996. IDEFOR-DFO/CIRAD-Forêt, Korhogo-Abidjan, mars 1996, 8p.
- Monnier, Y. 1968.** Les effets des feux de brousse sur une savane préforestière de Côte d'Ivoire. Abidjan, Etudes Eburnéennes n°9, 260p.
- Ouattara, N. 1994.** Etude de la macrofaune du sol sous divers couverts végétaux en zone préforestière et de savane soudano-guinéenne dans la moitié nord de la Côte d'Ivoire. Mémoire de D.E.S.S., Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zone tropicale. 71p.
- Ouattara, N. & Louppe, D. 1996.** Les parcelles feux d'Aubréville, quelles leçons en tirer ? Le Flamboyant, n. 38, p. 26-28.
- Roose, E. 1980.** Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux d'Afrique occidentale. Travaux et documents de l'ORSTOM n° 130, 569p.
- Vuattoux. 1968.** Le peuplement du palmier ronier (*Borassus aethiopum*) d'une savane de Côte d'Ivoire. Annales de l'Université d'Abidjan, 1968, Série E, T1, F1 138p.